

Simulasi Optimisasi Aliran Daya Sistem Tenaga Listrik Sebagai pendekatan efisiensi biaya operasi

Subiyanto

Abstrak

Dalam sistem tenaga setiap pembangkit mempunyai biaya bahan bakar masing-masing dan berada pada jarak beban yang tidak sama dari pusat. Kapasitas seluruh pembangkit harus lebih dari kebutuhan beban dan rugi-rugi. Dalam sistem tenaga terinterkoneksi perlu dilakukan penjadwalan penyaluran daya aktif dan reaktif masing-masing pembangkit untuk meminimumkan biaya operasi. Tulisan ini memberikan suatu simulasi tentang optimisasi aliran daya sistem tenaga listrik yang merupakan suatu teknik untuk meminimalkan biaya operasi sistem tenaga. Dari simulasi ini diharapkan dapat memberikan gambaran nyata bagaimana pengambilan keputusan dalam operasi sistem tenaga. Metode aliran daya yang digunakan adalah metode Newton-Rapson yang dikombinasi dengan optimisasi persamaan koordinasi dan iterasi lambda. Newton-Rapshon memberikan penyelesaian aliran daya yang jumlah iterasi sedikit sedang iterasi lambda memberikan penyelesaian optimisasi dari fungsi obyektif biaya pembangkitan.

Kata Kunci : Aliran Daya, Optimisasi, Fungsi Obyektif, Newton-Rapshon, Iterasi Lambda

1. Pendahuluan

Optimisasi aliran daya merupakan salah satu masalah dalam analisa sistem tenaga yang berperan penting dalam analisa perencanaan sistem tenaga baik dalam pengadaan sistem yang baru maupun pengembangan sistem yang telah ada. Optimisasi aliran daya sebagai suatu studi sistem tenaga yang memberikan banyak informasi yang antara lain berupa sudut fasa tegangan tiap bus dalam sistem, besar daya pembangkitan dan beban aktif maupun reaktif pada tiap bus dan informasi lain. Aliran daya dapat juga dipakai untuk memperoleh kondisi awal pada analisa kestabilan.

Dua langkah utama perhitungan optimisasi aliran daya sistem tenaga listrik adalah perhitungan aliran daya dan optimisasi biaya operasi pembangkit sebagai pemberi daya. Biaya bahan bakar adalah faktor utama dalam stasiun pembangkit yang menggunakan bahan bakar fosil perlu diminimisasi melalui pembebanan ekonomis.

2. Aliran daya dengan newton-rapshon

Tiap bus dalam sistem tenaga listrik melibatkan empat besaran yaitu: Daya nyata (P), Daya reaktif (Q), tegangan (V) dan sudut fasa tegangan (δ). Dalam penyelesaian aliran daya

dua dari empat besaran diatas ditentukan besarnya dan dua sisanya dihitung selama proses penyelesaian aliran daya.

Prosedur iterasi penyelesaian aliran daya dengan metode Newton-Rapshon adalah:

1. Untuk bus-bus beban, dimana P_i^{sch} dan Q_i^{sch} ditentukan, besar tegangan dan sudut fasa diseting sama dengan nilai-nilai bus slack yaitu $|V_i^0| = 1,0$ dan $\delta_i^0 = 0,0$. Untuk bus tegangan terkontrol atau bus generator, dimana $|V_i|$ dan P_i^{sch} ditentukan, sudut fasanya diseting sama dengan sudut fasa bus slack yaitu $\delta_i^0 = 0,0$.

2. Untuk bus bus beban, $P_i^{(k)}$ dan $Q_i^{(k)}$ dihitung dengan persamaan

$$P_i = \sum_{j=1}^n |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (1)$$

$$Q_i = - \sum_{j=1}^n |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (2)$$

dan

$$\Delta P_i^{(k)} = P_i^{sch} - P_i^{(k)} \quad (3)$$

$$\Delta Q_i^{(k)} = Q_i^{sch} - Q_i^{(k)} \quad (4)$$

3. Bus terkontrol tegangan $P_i^{(k)}$ dan $\Delta P_i^{(k)}$ masing-masing dihitung dengan persamaan (1) dan (3).

4. Elemen-elemen matriks jacobian (J1, J2, J3, dan J4) dari

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_1 & J_2 \\ J_3 & J_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \Delta V \end{bmatrix} \quad (5)$$

elemen-elemen **J1** adalah

$$\frac{\partial P_i}{\partial \delta_i} = \sum_{j \neq i} |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (6)$$

$$\frac{\partial P_i}{\partial \delta_j} = -|V_i| |V_j| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (7)$$

$i \neq j$

elemen-elemen **J2** adalah

$$\frac{\partial P_i}{\partial |V_i|} = 2|V_i| |Y_{ii}| \cos \theta_{ii} + \quad (8)$$

$$\sum_{j \neq i} |V_j| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j)$$

$$\frac{\partial P_i}{\partial |V_j|} = |V_i| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (9)$$

$i \neq j$

elemen-elemen **J3** adalah

$$\frac{\partial Q_i}{\partial \delta_i} = \sum_{j \neq i} |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (10)$$

$$\frac{\partial P_i}{\partial \delta_j} = -|V_i| |V_j| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (11)$$

$i \neq j$

elemen-elemen **J4** adalah

$$\frac{\partial Q_i}{\partial |V_i|} = -2|V_i| |Y_{ii}| \sin \theta_{ii} - \quad (12)$$

$$\sum_{j \neq i} |V_j| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j)$$

$$\frac{\partial P_i}{\partial |V_j|} = -|V_i| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (13)$$

$i \neq j$

5. Selesaikan persamaan simultan (5) dengan faktorisasi triangular dan eliminasi Gaussian.
6. Besar dan sudut fasa tegangan dihitung dengan
- $$|V_i^{(k+1)}| = |V_i^{(k)}| + \Delta |V_i^{(k)}| \quad (14)$$
- $$\delta_i^{(k+1)} = \delta_i^{(k)} + \Delta \delta_i^{(k)} \quad (15)$$
7. Proses dilanjutkan sampai

$$|\Delta P_i^{(k)}| \leq \epsilon \quad (\text{toleransi}) \quad (16)$$

$$|\Delta Q_i^{(k)}| \leq \epsilon \quad (\text{toleransi}) \quad (17)$$

dengan,

P_i^{sch} dan Q_i^{sch} : daya aktif dan reaktif dalam perunit

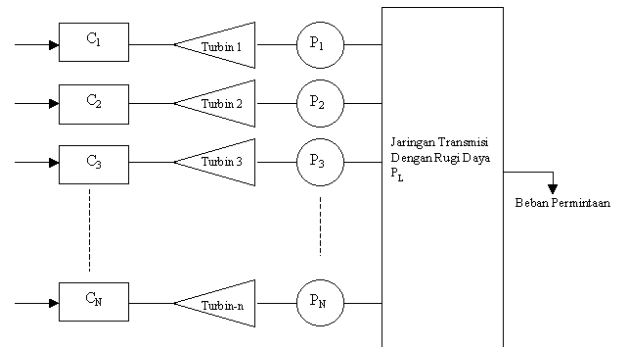
V_i dan δ_i : besar dan sudut fasa tegangan bus i.

Y_{ij} dan θ_{ij} : besar dan sudut fasa admitansi bus i ke bus j.

Y_{ii} dan θ_{ii} : besar dan sudut fasa admitansi sendiri bus i.

3. Pembebanan ekonomis

Sistem tenaga listrik yang melayani suatu beban listrik dengan mengabaikan rugi pada saluran transmisi diperlihatkan pada gambar 1.



Gambar1. Pembangkit Thermis Sebanyak n Beroperasi Melayani Beban melalui jaringan Transmisi.

Sistem tersebut terdiri dari n pembangkit thermis yang dihubungkan dengan suatu bus tunggal yang mensuplai beban listrik sebesar D mega watt. Masukan setiap unit pembangkit ditunjukkan oleh C_i , yaitu tingkat biaya bahan bakar dari unit pembangkit. Keluaran setiap unit adalah P_i , merupakan daya listrik yang dibangkitkan oleh setiap unit pembangkit. Total tingkat biaya dari sistem tersebut adalah jumlah dari biaya bahan bakar masing-masing unit pembangkit.

Fungsi biaya masalah pembebanan ekonomis didefinisikan sebagai berikut:

$$C = \sum_i C_i(P_i) \quad (18)$$

$$C_i(P_i) = a_i + b_i P + c_i P_i^2, \quad (19)$$

dengan

- $C_i(P_i)$: biaya generator ke-i
 P_i : daya output generator ke-i (MW).
 a_i, b_i, c_i : koefisien biaya generator ke-i.

Dalam Minimisasi total biaya produksi tersebut harus dipenuhi 2 kekangan:

1) Keseimbangan Daya

$$D + P_L - \sum_i P_i = 0 \quad (20)$$

dengan D adalah beban total, dan P_L adalah rugi transmisi masing-masing dalam MW.

2) Batas maksimum dan minimum Daya

$$P_{i(\min)} \leq P_i \leq P_{i(\max)} \quad (21)$$

dengan

$P_{i(\min)}$: Daya pembangkitan minimum pembangkit ke-i (MW).

$P_{i(\max)}$: Daya pembangkitan maksimum pembangkit ke-i (MW).

Operasi optimal (biaya operasi minimal) dapat dirumuskan sebagai berikut

- 1) Minimumkan biaya operasi $\sum_i C_i(P_i)$ yaitu fungsi tujuan
- 2) Mempertimbangkan kekangan kesetimbangan daya dan batas pembangkitan (Persamaan 20 dan 21).

Pembebanan optimal semua unit pembangkit yang beroperasi akan dicapai jika semua unit memiliki pertambahan biaya bahan bakar yang sama, yaitu:

$$\frac{\partial C_i}{\partial P_i} = \lambda \text{ atau } \frac{\partial C_1}{\partial P_1} = \lambda, \frac{\partial C_2}{\partial P_2} = \lambda, \frac{\partial C_3}{\partial P_3} = \lambda, \dots, \frac{\partial C_n}{\partial P_n} = \lambda \quad (22)$$

dengan n adalah jumlah unit pembangkit.

Selain dengan penyamaan pertambahan biaya bahan bakar (persamaan koordinasi) adalah dengan metode iterasi lambda (pertambahan biaya bahan bakar).

1. Nilai dari λ ditentukan terlebih dahulu atau nilai awal (acak).
2. Dihitung keluaran tiap pembangkit (P_i) dengan persamaan koordinasi dan rugi transmisi (P_L) dengan formula Kron's loss

$$P_i = \frac{\lambda - b_i}{2c_i} \quad (23)$$

$$P_L = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n P_i B_{ij} P_j + \sum_{i=1}^n B_{0i} P_i + B_{00} \quad (24)$$

dengan n = jumlah pembangkit

$$3. \text{ Jika } \Delta P^{(k)} = \left| \left(\sum_i P_i \right) - (D + P_L) \right| < \varepsilon \quad (\text{nilai}$$

toleransi yang ditetapkan), maka penyelesaian optimal dicapai. Jika tidak kerjakan langkah 4 berikut

4. Update nilai λ ,

$$\Delta \lambda^{(k)} = \frac{\Delta P^{(k)}}{\sum_i \frac{1}{2c_i}} \quad (25)$$

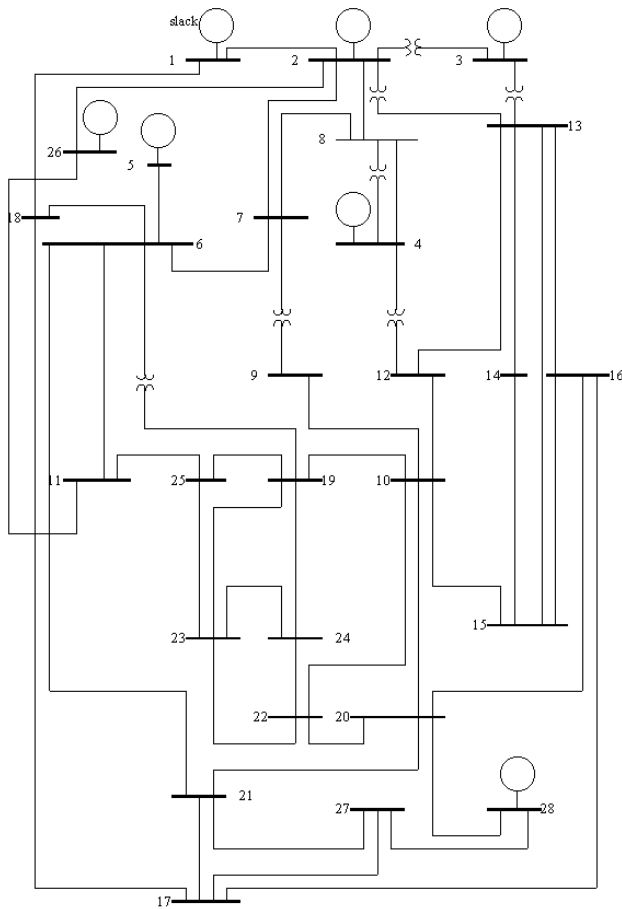
$$\lambda^{(k+1)} = \lambda^{(k)} + \Delta \lambda^{(k)} \quad (26)$$

5. Kemudian ulangi 2.

Jika beban unit ke-j mencapai batas $P_{j,\max}$ atau $P_{j,\min}$ maka beban batas ini akan merupakan beban tetap unit j, beban sisanya didistribusikan diantara unit lainnya.

4. Optimisasi Aliran Daya Listrik

Simulasi dilakukan dengan bahasa pemrograman MATLAB 5.3. Sistem tenaga listrik yang disimulasikan terdiri dari 28 bus seperti pada gambar 2 berikut



Gambar 2. Diagram Segaris Sistem Tenaga Listrik 28 Bus.

11	25	15	25	28	13
12	89	48	26	40	20
13	31	15	27	28	13
14	24	12	28	40	20

Bus1 sebagai bus slack tegangan ditentukan $V_1 = 1,025 \angle 0^\circ$ per unit.

Tabel 2. Data Pembangkitan.

Data Pembangkitan				
Bus No.	Mag. Tegangan	Gen. MW	Batas MVar	
			Min.	Max.
1	1,025			
2	1,02	79	40	250
3	1,025	20	40	150
4	1,05	100	40	80
5	1,045	300	40	160
26	1,015	60	15	50
28	1,015	60	15	50

Biaya operasi masing-masing generator dalam \$/h, P_i dalam MW adalah sebagai berikut:

$$C_1(P_1) = 240 + 7,0P_1 + 0,0070P_1^2,$$

$$C_2(P_2) = 200 + 10,0P_2 + 0,0095P_2^2,$$

$$C_3(P_3) = 220 + 8,5P_3 + 0,0090P_3^2,$$

$$C_4(P_4) = 200 + 11,0P_4 + 0,0090P_4^2,$$

$$C_5(P_5) = 220 + 10,5P_5 + 0,0080P_5^2,$$

$$C_{26}(P_{26}) = 190 + 12,0P_{26} + 0,0075P_{26}^2,$$

$$C_{28}(P_{28}) = 190 + 12,0P_{28} + 0,0075P_{28}^2,$$

4.1. Data Simulasi

Dengan data-data sebagai berikut berikut:

Tabel 1. Data Beban.

Data Beban					
Bus No.	Beban		Bus No.	Beban	
	MW	MVar		MW	MVar
1	51	41	15	70	31
2	22	15	16	55	27
3	64	50	17	78	38
4	25	10	18	153	67
5	50	30	19	75	15
6	76	29	20	48	27
7	0	0	21	46	23
8	0	0	22	45	22
9	89	50	23	25	12
10	0	0	24	54	27

Batas Pembangkitan daya aktif masing-masing Pembangkit ditunjukkan pada tabel 3 berikut:

Tabel 3. Data Batas pembangkitan daya aktif.

Batas Pembangkitan Daya Aktif		
Gen.	Min. MW	Max. MW
1	100	500
2	50	200
3	80	300
4	50	150
5	50	200
26	50	120
28	50	120

Kapasitor shunt dan tap setting transformator ditunjukkan pada tabel 4 berikut:

Tabel 4. Data Kapasitor Shunt dan Tap Transformator.

Kapasitor Shunt		Tap Transformator	
Bus No.	Mvar	Pada	Tap Setting
1	4	2--3	0,96
4	2	2--13	0,96
5	5	3--13	1,017
6	2	4--8	1,05
11	1,5	4--12	1,05
12	2	6--19	0,95
15	0,5	7--9	0,95
19	5		

Data saluran dan transformator terdiri dari reistansi, reaktansi dan setengah suseptansi kapasitif dalam per unit pada basis 100 MVA ditunjukkan pada tabel 5 berikut:

Tabel 5. Data Parameter Saluran dan Transformator dalam per unit.

Data Saluran Dan Transformator dalam per unit (pu)							
Hubungan	R	X	1/2 B	Hubungan	R	X	1/2 B
1--2	0,0005	0,0048	0,03	11--26	0,0165	0,097	0,004
1--18	0,0013	0,011	0,06	12--14	0,0327	0,0802	0
2--3	0,0014	0,0513	0,05	12--15	0,018	0,0598	0
2--7	0,0103	0,0586	0,018	13--14	0,0046	0,0271	0,001
2--8	0,0074	0,0321	0,039	13--15	0,0116	0,061	0
2--13	0,0035	0,0967	0,025	13--16	0,0179	0,0888	0,001
2--26	0,0323	0,1967	0	14--15	0,0069	0,0382	0
3--13	0,0007	0,0054	0,0005	15--16	0,0209	0,0512	0
4--8	0,0008	0,024	0,0001	16--17	0,099	0,06	0
4--12	0,0016	0,0207	0,015	16--20	0,0239	0,0585	0
5--6	0,0069	0,03	0,099	17--18	0,0032	0,06	0,038
6--7	0,0053	0,0306	0,001	17--21	0,229	0,445	0
6--11	0,0097	0,057	0,0001	17--27	0,229	0,445	0
6--18	0,0037	0,0222	0,0012	19--23	0,03	0,131	0
6--19	0,0035	0,066	0,045	19--24	0,03	0,125	0,002
6--21	0,005	0,09	0,0226	19--25	0,119	0,2249	0,004
7--8	0,0012	0,0069	0,0001	20--21	0,0657	0,157	0
7--9	0,0009	0,0429	0,025	20--22	0,015	0,0366	0
8--12	0,002	0,018	0,02	20--28	0,0097	0,057	0,0001
9--10	0,001	0,0493	0,001	21--24	0,0476	0,151	0
10--12	0,0024	0,0132	0,01	21--27	0,0657	0,157	0
10--19	0,0547	0,236	0	22--23	0,029	0,099	0
10--20	0,0066	0,016	0,001	22--24	0,031	0,088	0
10--22	0,0069	0,0298	0,005	23--25	0,0987	0,1168	0
11--25	0,096	0,27	0,01	27--28	0,0097	0,057	0,0001

4.1. Hasil Simulasi

Hasil perhitungan optimisasi aliran daya dengan bantuan program Matlab 5.3 (potongan output eksekusi) adalah sebagai berikut:

Penyelesaian Aliran Daya Dengan Metode Newton-Raphson

Kesalahan Daya Maximum = 8.0501e-008
Pada Iterasi ke = 9

Bus No.	Tegangan Mag.	Sudut Derajat	-----Beban----- MW	Mvar	--Pembangkitan-- MW	Mvar	Injeksi Mvar
1	1.025	0.000	51.000	41.000	727.719	224.087	4.000
2	1.020	-0.939	22.000	15.000	79.000	124.609	0.000
3	1.035	-4.237	64.000	50.000	20.000	61.420	0.000
4	1.050	-3.614	25.000	10.000	100.000	46.823	2.000
5	1.045	1.076	50.000	30.000	300.000	124.333	5.000
6	0.999	-2.626	76.000	29.000	0.000	0.000	2.000
7	0.994	-3.238	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
8	0.997	-3.329	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
9	1.009	-5.429	89.000	50.000	0.000	0.000	3.000
10	0.990	-5.603	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
11	0.997	-3.264	25.000	15.000	0.000	0.000	1.500
12	0.993	-4.727	89.000	48.000	0.000	0.000	2.000
13	1.014	-4.457	31.000	15.000	0.000	0.000	0.000
14	1.000	-5.071	24.000	12.000	0.000	0.000	0.000
15	0.992	-5.575	70.000	31.000	0.000	0.000	0.500
16	0.983	-5.944	55.000	27.000	0.000	0.000	0.000
17	0.987	-5.143	78.000	38.000	0.000	0.000	0.000
18	1.007	-1.899	153.000	67.000	0.000	0.000	0.000
19	1.004	-6.454	75.000	15.000	0.000	0.000	5.000
20	0.982	-6.078	48.000	27.000	0.000	0.000	0.000
21	0.977	-5.977	46.000	23.000	0.000	0.000	0.000
22	0.979	-6.489	45.000	22.000	0.000	0.000	0.000
23	0.977	-7.141	25.000	12.000	0.000	0.000	0.000
24	0.969	-7.436	54.000	27.000	0.000	0.000	0.000
25	0.975	-6.825	28.000	13.000	0.000	0.000	0.000
26	1.015	-1.836	40.000	20.000	60.000	32.640	0.000
27	0.975	-6.530	28.000	13.000	0.000	0.000	0.000
28	0.985	-6.021	40.000	20.000	60.000	39.525	0.000
Total			1331.000	670.000	1346.719	653.437	25.000

B =

0.0015	0.0016	0.0010	-0.0000	-0.0003	-0.0001	-0.0012
0.0016	0.0045	0.0054	0.0002	-0.0007	-0.0001	-0.0020
0.0010	0.0054	0.0309	0.0000	-0.0017	-0.0013	-0.0032
-0.0000	0.0002	0.0000	0.0028	-0.0005	-0.0008	-0.0003
-0.0003	-0.0007	-0.0017	-0.0005	0.0086	-0.0000	-0.0013
-0.0001	-0.0001	-0.0013	-0.0008	-0.0000	0.0178	-0.0020
-0.0012	-0.0020	-0.0032	-0.0003	-0.0013	-0.0020	0.0166

B0 =

-0.0002	-0.0006	0.0067	0.0000	0.0001	-0.0011	-0.0006
---------	---------	--------	--------	--------	---------	---------

B00 =

0.0055

Total rugi sistem = 15.7121 MW

Total Biaya Pembangkitan = 17837.949 \$/h

Incremental biaya pengiriman daya (sistem lambda) = 13.698054 \$/MWh

Penyaluran Daya Optimal :

460.5427
164.2100
187.1736
146.5788
186.4737
95.2026
114.6383

Nilai absolut kesalahan daya nyata pada bus slack, dpslack = 2.6718 pu

..... dan seterusnya.....

Setelah iterasi ke-4 pada proses optimisasi (pembebanan ekonomis) diperoleh :

B =

0.0018	0.0013	0.0008	-0.0000	-0.0005	-0.0001	-0.0012
0.0013	0.0014	0.0010	0.0001	-0.0005	-0.0000	-0.0010
0.0008	0.0010	0.0032	0.0000	-0.0009	-0.0005	-0.0011
-0.0000	0.0001	0.0000	0.0024	-0.0005	-0.0007	-0.0003
-0.0005	-0.0005	-0.0009	-0.0005	0.0134	-0.0001	-0.0013
-0.0001	-0.0000	-0.0005	-0.0007	-0.0001	0.0154	-0.0016
-0.0012	-0.0010	-0.0011	-0.0003	-0.0013	-0.0016	0.0125

B0 =

1.0e-003 *

-0.3053	-0.0894	0.7354	0.0419	0.3999	-0.6373	-0.2544
---------	---------	--------	--------	--------	---------	---------

B00 =

0.0055

Total rugi sistem = 12.3531 MW

Incremental biaya pengiriman daya (sistem lambda) = 13.447657 \$/MWh

Penyaluran Daya Optimal :

441.4958
168.6529
258.6314
133.4328
159.8849
82.2755
98.9705

Nilai absolut kesalahan daya nyata pada bus slack, dpslack = 0.0006 pu

Penyelesaian Aliran Daya Dengan Metode Newton-Raphson

Kesalahan Daya Maximum = 2.21004e-005
Pada Iterasi ke = 2

Bus No.	Tegangan Mag.	Sudut Derajat	-----Beban----- MW	Mvar	--Pembangkitan-- MW	Mvar	Injeksi Mvar
1	1.025	0.000	51.000	41.000	441.432	251.850	4.000
2	1.020	-0.193	22.000	15.000	168.555	57.198	0.000
3	1.045	-0.606	64.000	50.000	258.516	78.682	0.000
4	1.050	-2.011	25.000	10.000	133.346	32.499	2.000
5	1.045	-1.498	50.000	30.000	160.432	143.741	5.000
6	1.001	-2.824	76.000	29.000	0.000	0.000	2.000
7	0.995	-2.320	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
8	0.998	-2.187	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
9	1.011	-4.224	89.000	50.000	0.000	0.000	3.000
10	0.991	-4.056	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
11	0.998	-2.844	25.000	15.000	0.000	0.000	1.500
12	0.994	-3.131	89.000	48.000	0.000	0.000	2.000
13	1.022	-1.211	31.000	15.000	0.000	0.000	0.000
14	1.008	-2.357	24.000	12.000	0.000	0.000	0.000
15	0.999	-3.115	70.000	31.000	0.000	0.000	0.500
16	0.990	-3.816	55.000	27.000	0.000	0.000	0.000
17	0.982	-4.293	78.000	38.000	0.000	0.000	0.000
18	1.007	-1.860	153.000	67.000	0.000	0.000	0.000
19	1.005	-5.924	75.000	15.000	0.000	0.000	5.000
20	0.984	-4.358	48.000	27.000	0.000	0.000	0.000
21	0.977	-5.090	46.000	23.000	0.000	0.000	0.000
22	0.980	-5.028	45.000	22.000	0.000	0.000	0.000
23	0.978	-6.182	25.000	12.000	0.000	0.000	0.000
24	0.969	-6.415	54.000	27.000	0.000	0.000	0.000
25	0.975	-6.122	28.000	13.000	0.000	0.000	0.000
26	1.015	-0.471	40.000	20.000	82.206	28.505	0.000
27	0.976	-4.488	28.000	13.000	0.000	0.000	0.000
28	0.985	-3.449	40.000	20.000	98.879	27.825	0.000
Total			1331.000	670.000	1343.366	620.299	25.000

Total Biaya Pembangkitan = 16482.508 \$/h

Pada kondisi awal operasi total biaya pembangkitan adalah 17837.949 \$/h dan total biaya pembangkitan setelah dilakukan optimisasi adalah 16482.508 \$/h. berarti tiap jam diperoleh pengurangan biaya \$1355.441. Sehingga kira-kira dalam satu tahun

24 h x 365 x 1355.441 \$/h = **\$ 11873663.160.**

5. Penutup

Dari Pembahasan diatas disampaikan beberapa kesimpulan sebagai berikut:

- 1) Dari hasil simulasi diatas 28 bus diperoleh keuntungan \$ 11873663.160 setiap tahun jika dilakukan optimisasi aliran daya daripada tidak. Sehingga jika Sistem interkoneksi Jawa-Bali-NTB yang terdiri dari bayak bus akan lebih iperoleh keuntungan jika dilakukan optimisasi.
- 2) Dalam studi analisis sistem tenaga tidak cukup hanya dengan aliran daya, perlu dilakukan optimisasi untuk menekan biaya operasi sistem tenaga dan diperoleh keuntungan yang lebih besar. Penerapan JST Hopfield untuk proses optimisasi untuk penelitian lebih lanjut diupayakan selain mendapatkan biaya operasi yang minimal juga ketepatan antara kebutuhan daya dengan total pembangkitan.

Tulisan ini hanya suatu gambaran kecil optimisasi sistem tenaga. Untuk sistem yang besar dan permasalahan yang lebih kompleks seperti koordinasi pembangkit hidro-thermal harus dilakukan penyelesaian *Unit Commitment*.

DAFTAR PUSTAKA

- Hadi Saadat, 1999 , Power System Analysis, McGraw-Hill, Singapore.
- Muhammad Arif Adha, 1996, Program Simulasi Operasi ekonomis Pembangkit Dengan Metode Program Dinamis, Tugas Akhir, UNDIP, Semarang.
- Subiyanto, 2003, Optimisasi Pembangkitan Tenaga Listrik Menggunakan Jaringan

Syaraf Tiruan Hopfield Adaptif. Tesis UGM, Yogyakarta.

Sulasno, 1993, Analisis Sistem Tenaga Listrik, Satya Wacana, Semarang.

Unggul Satriatama, 1996, Program Simulasi Analisis Aliran Daya Dengan Metode Newton Raphson, Tugas Akhir, UNDIP, Semarang.

Kamal Idris, William D. Stevenson, Jr, 1996, Analisis Sistem Tenaga Listrik, Erlangga, Jakarta.

Wood A. J. and Wollenberg B. F. , 1994, Power Generation, Operation and Control, John Willey & Sons, Singapore.

BIOGRAFI

Subiyanto lahir di Klaten, 23 Nopember 1974. Lulus Sarjana Teknik Elektro UNDIP pada tahun 1998 dengan mempunyai ranking I, lulus Pascasarjana S2 Teknik Elektro UGM 2003. Sejak Desember 2004 menjadi staf pengajar di Teknik Elektro Universitas Negeri Semarang. Bidang yang diminati Sistem Tenaga Listrik dan Penggunaan Komputer dalam Sistem Tenaga Listrik serta menekuni *Intelligent System* (JST) dan Teknik Komputasi.